MaB-6-Pilotprojekt „Alpine Ökosysteme“: Erste Ergebnisse einer Ökosystemstudie im Bereich der alpinen Grasheide in den Hohen Tauern

Von Alexander Cernusca

(Vorgelegt in der Sitzung der mathem.-naturw. Klasse am 3. März 1977 durch das w. M. H. Franz)

Mit 3 Abbildungen und 1 Tabelle

Seit 1974 werden im Rahmen des Österreichischen MaB-Projektes „Hohe Tauern“ grundlegende Ökosystemanalysen in einem Curvuletum in 2300 m MH nahe dem Wallackhaus an der Glocknerstraße durchgeführt (Cernusca 1975 a, b; Franz 1975; Pümpel 1975; Weiss 1975). Aufbauend auf den bereits vorliegenden Meßergebnissen wurde nun im Zeitraum vom 25. Juli bis Ende Oktober 1976 von der MaB-Arbeitsgruppe am Institut für Allgemeine Botanik unter Mitwirkung von Beate Czermak, Alois Posch, Dr. Brigitte Pümpel und Dr. Emmerich Weiss eine intensive Ökosystemstudie durchgeführt. Ziel dieser Untersuchungen war ein Vergleich verschieden exponierter und unterschiedlich anthropogen belasteter Bestände unter Berücksichtigung des Vegetationswechsels entlang eines charakteristischen, lokalklimatischen Gradienten von einem feuchten Schneetälchen (Muldenlage) zu einem relativ trockenen Curvuletum (Rippenlage). Eine ausführliche Publikation dieser Studie ist im Druck (Cernusca 1977a).

1. Versuchsgelände

Abb. 1 zeigt das Versuchsgelände beim Wallackhaus. Die Projektstudie wurde schwerpunktmäßig an den mit (1) und (2) bezeichneten Versuchsflächen durchgeführt:

(1) Eingezäunte Intensivfläche „Curvuletum“ beim Wallackhaus

(2) Feuchte Mulde mit angrenzendem Schneetälchen

Die feuchte Mulde wird durch einen in der Nähe vorbeiführenden Abwasserkanal des Wallackhauses anthropogen stark beeinflußt. Als dominierende Pflanze tritt hier *Deschampsia caespitosa* auf.

©Akademie d. Wissenschaften Wien; download unter www.biologiezentrum.at

Die Mulde unterscheidet sich vom Curvuletum nicht nur durch wesentlich höhere Bodenfeuchtigkeit (Posch), sondern auch durch Unterschiede in der Bestandesstruktur und im Mikroklima. An die feuchte Mulde schließt sich hangaufwärts in Richtung Wallackhaus eine kleinflächige Schneetälchenvegetation (*Salix herbacea, Gnaphalium supinum*) an. Die Vegetationsstruktur der Übergangszonen vom Curvuletum zur feuchten Mulde bzw. zum Schneetälchen bietet, wie Czermak feststellt, einen idealen Lebensraum für epigäisch lebende Arthropoden. Der dichte Grasbewuchs der feuchten Mulde bietet nämlich Schutz bei schlechter Witterung und Versteck vor Feinden, die niedrige Schneetälchenvegetation ist dagegen ein ideales Jagdgebiet für zahlreiche Räuber.

Ergänzend zu den Messungen in der Umgebung des Wallackhauses wurde beim Hochtor eine Mikroklimameßstation errichtet, die der Erfassung des Energiehaushaltes im Bereich der Polsterpflanzenstufe dient.

2. Meßprogramm und Meßmethodik

2. 1. Bestandsstruktur und Biomasse

Zur Erfassung des Bestandsaufbaues wurde nach der geschichteten Erntemethode die Phytomasse in den einzelnen Bestandsschichten ermittelt. Am geernteten Material wurden die Artenzusammensetzung, das Trockengewicht, die Blattflächenentwicklung und Blattneigung sowie der Energiegehalt bestimmt. Außerdem wurde für verschiedene Pflanzenbestände in der alpinen Grasheide eine Abschätzung der pflanzlichen Stoffproduktion vorgenommen. Diese Untersuchungen erfolgten durch Dr. Brigitte Pümpel.

2. 2. Makroklimatische Charakterisierung

Das Makroklima des Versuchsgeländes wurde von Dr. Emmerich Weiss mit Hilfe einer meteorologischen Standardausrüstung erfaßt, ausgewertet und interpretiert.

2. 3. Mikroklima, Strahlungs- und Wärmehaushalt

Strahlung: Sternpyranometer und Gesamtstrahlungsmesser zur Erfassung des vollen Strahlungshaushaltes der beiden Versuchsbestände.

Lufttemperatur und Luftfeuchtigkeit: Elektrische Aspirationspsychrometer in den Meßhöhen 10 cm, 50 cm und 200 cm über dem Bestand.

Bodentemperaturprofil bis in 10 cm Tiefe.

Bodenwärmestrom: Wärmestrommeßplättchen in 2 cm Bodentiefe.

Verdunstung: Physikalische Verdunstung mit einer automatischen Verdunstungswanne, Verdunstung im Bestand mit elektrischen Piche-Atmometern.

Windgeschwindigkeit: Feinprofile der Windgeschwindigkeit über dem Bestand mit einem Satz von 6 Kontaktanemometern.

Evapotranspiration: Die Evapotranspiration der beiden Versuchsbestände wurde auf Grund der gemessenen Mikroklimaprofile nach meteorologischen Methoden berechnet.

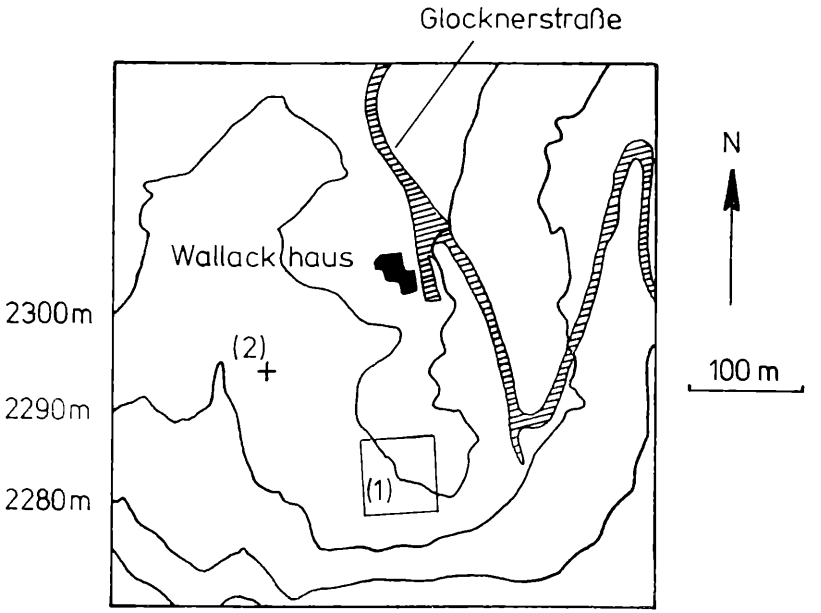

Abb. 1. Lageplan des Versuchsgeländes beim Wallackhaus.
(1) Curvuletum 2300 m MH
(2) feuchte Mulde mit angrenzender Schneetälchenvegetation (vergl. auch WEISS 1976).

Für die Ökosystemstudie beim Wallackhaus wurde ein neuartiges Mikroklimameßgerät entwickelt und aufgebaut, das es gestattet, Feinprofile von Lufttemperatur, Luftfeuchtigkeit und Windgeschwindigkeit in den untersten Zentimetern der Atmosphäre automatisch auf Lochstreifen zu registrieren (CERNUSCA 1977b). Damit war es erstmals möglich, das Bioklima der sehr flachen hochalpinen Pflanzenbestände exakt zu erfassen.

©Akademie d. Wissenschaften Wien; download unter www.biologiezentrum.at

2. 4. Wasserhaushalt der Vegetationsdecke

Evapotranspiration: Messung mit wiegenden Kleinlysimetern.

Transpiration des Bestandes: Wiegende Kleinlysimeter mit abgedichteter Bodenoberfläche.

Blattdiffusionswiderstände: Zur Messung der Spaltöffnungsweite wurden von Körner zwei Wasserdampfdiffusionsporometer aufgebaut, die speziell für die Messung an Grasblättern geeignet sind. Mit diesen Geräten ist eine Absolutmessung des Diffusionswiderstandes der Spaltöffnungen möglich (Körner und Cernusca 1976). Die Wasserhaushaltsuntersuchungen wurden von Dr. Christian Körner durchgeführt.

2. 5. CO_2-Gaswechsel

Für die Durchführung von CO_2-Gaswechselmessungen wurde in einem VW-Hochraum-Kombi ein Infrarotgasanalysator (URAS I) mit Zusatzgeräten eingebaut. Abb. 2 zeigt den Meßbus bei Messungen im Curvuletum. Durch ein speziell entwickeltes Integrationssystem ist es bei dieser Anlage möglich, auch unter schwierigen Freilandbedingungen CO_2-Profile mit einer Genauigkeit von besser als 0,5 ppm zu registrieren.[1]) Für die Messung des CO_2-Gaswechsels von Einzelpflanzen wurden temperaturgeregelte Glasküvetten entwickelt und erprobt. Für die Projektstudie 1976 waren nur erste Vorversuche zum CO_2-Gaswechsel geplant. Die entwikkelte Meßeinrichtung funktionierte jedoch so gut, daß für folgende Fragestellungen erste Ergebnisse vorliegen: CO_2-Profile, Boden- und Bestandsatmung, CO_2-Gaswechsel von Einzelpflanzen (*Carex curvula*, *Loiseleuria procumbens*).

2. 6. Zoologische Untersuchungen

Ergänzend zu den oben beschriebenen Messungen wurden im Rahmen der Projektstudie von Beate Czermak zoologische Untersuchungen durchgeführt. Im Mittelpunkt standen dabei die standörtlichen Unterschiede der epigäischen Arthropoden.

3. Erste Ergebnisse

In Abb. 3 sind charakteristische Mikroklimaprofile für das Curvuletum dargestellt. Über dem Bestand ergibt sich ein angenähert logarithmisches Windprofil. Bezogen auf 2 m Höhe nimmt die Windgeschwindigkeit bis in mittlere Höhe (5 cm) des *Carex*-Bestandes auf $^1/_6$ ab. In den untersten 2 cm dieses Bestandes, das

[1]) Die Registrierung der CO_2-Meßwerte erfolgte außerdem mittels eines 12-Kanal-Schreibers, Type PM8235, der von der Fa. Philips (Wien) dem MaB-Projekt „Hohe Tauern" kostenlos zur Verfügung gestellt wurde, wofür an dieser Stelle herzlichst gedankt sei!

©Akademie d. Wissenschaften Wien; download unter www.biologiezentrum.at

Abb. 2. CO_2-Gaswechselmessungen mit dem Meßgeräte-Kombi im Bereich des Curvuletums beim Wallackhaus.

©Akademie d. Wissenschaften Wien; download unter www.biologiezentrum.at

ist die Schicht, die nach den Messungen von Pümpel mehr als 80% der Phytomasse enthält, beträgt die Windgeschwindigkeit sogar nur noch $^1/_{20}$ des Wertes von 2 m Höhe.

Die unterste dichtbelaubte Schicht und die Bodenoberfläche stellen im Curvuletum die „aktive Oberfläche" bezüglich des Wärmehaushaltes dar. Das zeigen unter anderem die Temperaturprofile. An einem heiteren Hochsommertag (3. 8. 1976) treten die Temperaturextremwerte in diesem Bestand an der Bodenoberfläche auf: Maximum 35,9° C, Minimum 0° C und Tagesschwankung 35,9° C. In mittlerer Bestandeshöhe beträgt der Tagesgang der Temperatur dagegen nur 19° C und in 2 m Höhe sogar nur 9,5° C. Vergleichsmessungen im *Deschampsia*-Bestand in der feuchten Mulde zeigen, daß hier im Gegensatz zum Curvuletum, die „aktive Schicht" 3 cm über der Bodenoberfläche liegt. In dieser Schicht ergibt sich ein Temperaturmaximum von 25° C. Das Temperaturminimum liegt sogar noch höher im Bestand, nämlich 6 cm über der Bodenoberfläche, und beträgt —3,7° C (thermische Ausstrahlung).

Das Dampfdruckprofil zeigt einen ähnlichen Verlauf wie das Temperaturprofil mit einem Maximum unmittelbar über der Bodenoberfläche (14 Torr) und einer steilen Dampfdruckabnahme auf nur 6 Torr in 10 cm Höhe. Auffallend ist auch, daß die relative Luftfeuchtigkeit an Schönwettertagen im *Carex*-Bestand häufig unter 40% absinkt. Vergleichsmessungen in der feuchten Mulde zeigen, daß im *Deschampsia*-Bestand die relative Luftfeuchtigkeit bei heiterem Wetter um 20 bis 30% höher als im Curvuletum liegt. Das Bestandsklima ist also im *Deschampsia*-Bestand wesentlich kühler und feuchter als im *Carex*-Bestand.

Die CO_2-Profile zeigen, daß untertags, wegen der Photosyntheseleistung des Pflanzenbestandes, ein Minimum der CO_2-Konzentration in mittlerer Bestandshöhe auftritt (3 cm Höhe: 330 ppm). An der Bodenoberfläche liegt die CO_2-Konzentration gleichzeitig um rund 8 ppm höher als in Bestandsmitte und über dem Bestand ergibt sich eine CO_2-Zunahme mit steigender Höhe von rund 4 ppm m^{-1}. In der Nacht tritt dagegen häufig eine starke CO_2-Anreicherung in den untersten Bestandsschichten auf, die bei Windstille zwischen 50 und 80 ppm (bezogen auf den 2 m-Wert) betragen kann.

Tab. 1 gibt einen Überblick über den Strahlungs- und Wärmehaushalt im Curvuletum (3. 8. 1976). Von der einfallenden Globalstrahlung (21755 $kJ \cdot m^{-2} \cdot d^{-1}$) werden rund 22% von der Vegetation und vom Boden reflektiert. 66% werden im Bestand in

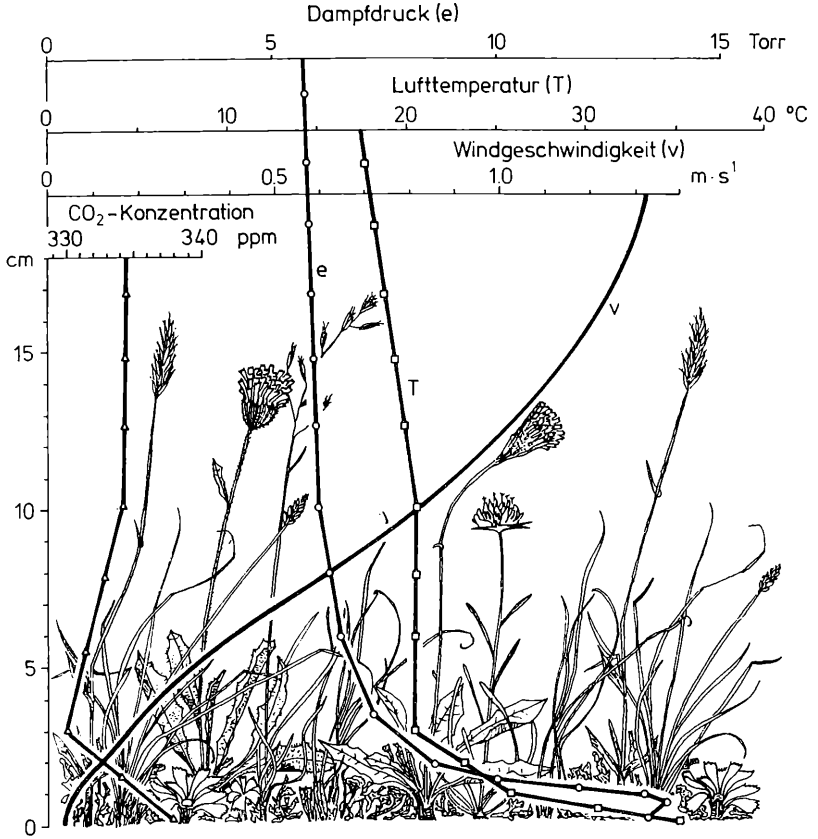

Abb. 3. Mikroklimaprofile in einem *Carex*-Bestand an einem heiteren Hochsommertag (3. 8. 1976), Stundenmittel von 13 bis 14 Uhr.

Tab. 1. Energiehaushalt im Curvuletum beim Wallackhaus an einem heiteren Augusttag (3. 8. 1976). Alle Energieflüsse in kJ . m^{-2}.

	7.00—19.00	19.00—7.00
Globalstrahlung	+21755	+ 729
reflektierte Globalstrahlung	— 4798	
Albedo	22%	
Strahlungsbilanz	+14361	—1176
Evapotranspiration	— 7536	— 502
Konvektion fühlbarer Wärme	— 6490	+1519
Bodenwärmestrom	— 335	+ 159
BOWEN-Verhältnis	0,86	—3,0

©Akademie d. Wissenschaften Wien; download unter www.biologiezentrum.at

Wärme umgewandelt (= Strahlungsbilanz) und fließen dem Wärmehaushalt zu. 52,5% der Strahlungsbilanz werden in der Folge für die Verdunstung von Wasser (Evapotranspiration), 45% für die Erwärmung der Luft (Austausch fühlbarer Wärme) und 2,3% für die Erwärmung des Bodens (Bodenwärmestrom) verwendet. Das BOWEN-Verhältnis = Wärmekonvektion/Evapotranspiration) ist mit 0,86 typisch für einen eher trockenen Standort. Das BOWEN-Verhältnis liegt nämlich bei Oberflächen mit frischer, dichter Vegetation immer unter 0,5. Für trockene Standorte ergibt sich dagegen ein BOWEN-Verhältnis von über 1, das bei fortschreitender Austrocknung, wie Messungen auf einer Schiabfahrt in Achenkirch gezeigt haben, sogar auf 7,5 ansteigen kann (CERNUSCA 1977c).

Detaillierte Untersuchungen von KÖRNER lieferten umfangreiche Informationen zum Wasserhaushalt der alpinen Grasheide. So ergaben seine Messungen, daß an Schönwettertagen im Hochsommer die Evapotranspiration verschiedener Bestände im Curvuletum zwischen 3 bis 4 $mm \cdot d^{-1}$ beträgt. An Trübtagen vermindert sich dieser Betrag auf 1,7 bis 2,1 $mm \cdot d^{-1}$. Etwa 7% der Tagessummen der Evapotranspiration entfallen davon auf die Nachtstunden (19 bis 07 Uhr). Der Anteil der Bodenverdunstung an der Evapotranspiration beträgt zwischen 20% (Trübtage) und 34% (Schönwettertage). Von den dominierenden Pflanzen des Curvuletums weist unter Standortsbedingungen *Carex curvula* mit maximal 0,9 g dm_2^{-2} h^{-1} die höchste Transpirationsrate auf. *Primula minima* transpiriert maximal 0,75, *Hieracium* spp. nur 0,4 g dm_2^{-2} h^{-1}. Bei Schönwetter und guter Wasserversorgung beträgt der durchschnittliche Blattdiffusionswiderstand von *Carex curvula* ca. 4 s cm^{-1}, von *Primula minima* und *Hieracium* spp. ca. 2 s cm^{-1}, wobei sich die Unterschiede in den Transpirationsraten aus den unterschiedlichen Mikroklimaverhältnissen erklären lassen. KÖRNER konnte auch nachweisen, daß selbst an heißen Hochsommertagen die Spaltöffnungen mittags nicht geschlossen werden. Messungen der Blattsaugspannung ergaben außerdem keine Hinweise auf eine außergewöhnliche Anspannung der Wasserbilanz der Pflanzen in der alpinen Grasheide.

Wie die Produktionsanalysen von PÜMPEL ergeben haben, beträgt die durchschnittliche Produktionsrate während der Vegetationsperiode 1976 im Curvuletum 2,45 g $TS \cdot m^{-2} \cdot d^{-1}$ (= 47,8 $kJ \cdot m^{-2} \cdot d^{-1}$), das sind rund 0,2% der an einem heiteren Hochsommertag einfallenden Globalstrahlung. 60% der Nettoprimärproduktion liegen in diesem Zeitraum in Form von Streuproduktion vor, der Rest tritt als Biomassezuwachs auf. Von den unter-

suchten Beständen weist der *Dschampsia*-Bestand in der feuchten Mulde mit 3,22 g TS $m^2 \cdot d^{-1}$ (= 61,8 kJ $m^{-2} \cdot d^{-1}$) im Durchschnitt über die Vegetationsperiode die höchste Nettoprimärproduktion auf. Im Gegensatz zum Curvuletum werden in der feuchten Mulde 86% der pflanzlichen Stoffproduktion für das Bestandswachstum verwendet und nur 14% gehen in Richtung Streuproduktion.

Die zoologischen Untersuchungen von CZERMAK an epigäischen Arthropoden haben schließlich gezeigt, daß die unterschiedliche Struktur der untersuchten Pflanzenbestände (Curvuletum, Deschampsietum in feuchter Mulde, Schneetälchenvegetation) zwar die Individuendichte und Mannigfaltigkeit der Fauna stark beeinflußt, daß sich aber die orographische Struktur des Geländes (Rippe, Mulde) auf das Auftreten dominanter Tiere stärker auswirkt als die Unterschiede in der Vegetation. Auffallend ist außerdem die große biozönologische Bedeutung der Opilioniden, der Araneae und nicht zuletzt der Dipteren im Ökosystem „Alpine Grasheide"

4. Ausblick

Die Erfahrungen des Meßeinsatzes im Sommer 1976 bestätigen erneut den Wert von ausweitenden interdisziplinären Projektstudien bei Ökosystemanalysen im Gebirge (CERNUSCA 1975a, b). Trotz der extrem ungünstigen Witterung (wiederholte Kälteeinbrüche, Schneefälle und nur 4 Schönwettertage während der Intensivmeßperiode vom 25. 7. bis 17. 8. 1976) konnten doch eine Reihe von grundlegenden neuen Ergebnissen gefunden werden, die für das Verständnis der Struktur und Funktion der Alpinen Grasheide wesentlich sind. Im nächsten Jahr soll das Intensivprogramm durch eine weitere Projektstudie beim Wallackhaus fortgesetzt werden, in deren Mittelpunkt vor allem Energie- und Wasserhaushaltsuntersuchungen sowie CO_2-Gaswechselmessungen an natürlichen und anthropogen veränderten Pflanzenbeständen stehen werden.

Dank: Herrn Reinhold GAPP sei an dieser Stelle für seine technische Unterstützung bei der Durchführung der Ökosystemstudie herzlichst gedankt!

Literatur

CERNUSCA, A. (1975a): Ökoklimatische Messungen im Rahmen des MaB-6-Projektes „Hohe Tauern". — Sber. Österr. Akad. Wiss., mathem.-naturw. Kl., Abt. I, Bd. 184, 6. bis 7. Heft, 143—158.

CERNUSCA, A. (1975b): MaB-6-Projekt „Pilotprojekt Alpine Ökosysteme". Sber. Österr. Akad. Wiss., mathem.-naturw. Kl., Abt. I, Bd. 184, 6. bis 7. Heft, 133—141.

— (ed.) (1977a): Alpine Grasheide Hohe Tauern: Ergebnisse der Ökosystemstudie 1976. — Mit Beiträgen von CERNUSCA A., CZERMAK B., DECKER P., KÖRNER CH., POSCH A., PÜMPEL B. und WEISS E. — Veröffentlichungen des MaB-Hochgebirgsprogramms „Hohe Tauern", Bd. 1, Universitätsverlag Wagner, Innsbruck 1977.

— (1977b): Ein Meßgerät zur automatischen Erfassung von Mikroklimaprofilen in den untersten Zentimetern der Atmosphäre. Wetter und Leben, im Druck.

— (ed.) (1977c): Ökologische Veränderungen durch das Anlegen von Schiabfahrten an Waldhängen.
Mit Beiträgen von CERNUSCA A., FRIEDRICH F., GRABHERR G., GUGGENBERGER H., HASELWANDTER K., HUBER F., KARL J., KÖRNER CH., KUEN H., NEUWINGER I., SCHEIRING H., THALER K., TSCHÖRNER F. und REISIGL, H. — In: Alpine Umweltprobleme; Ergebnisse des Forschungsprojektes Achenkirch. Beiträge zur Umweltgestaltung, A 62, Teil I, Schmidt Verlag, Berlin 1977.

FRANZ H. (1975): Das österreichische MaB-Hochgebirgsprogramm — Arbeitsgebiet Hohe Tauern. Bericht über Entstehung und organisatorischen Aufbau. Sber. Österr. Akad. Wiss., mathem.-naturw. Kl., Abt. I, Bd. 184, 6. bis 7. Heft, 97—101.

KÖRNER Ch. & A. CERNUSCA (1976): A semi-automatic self-recording diffusion porometer and its performance under alpine field conditions. Photosynthetica 10, 172—181.

PÜMPEL B. (1975): Bericht über den Stand der produktionsbiologischen Untersuchungen im Gebiet des Wallackhauses (Großglockner). — Sber. Österr. Akad. Wiss., mathem.-naturw. Kl., Abt. I, Bd. 184, 6. bis 7. Heft, 113—119.

WEISS E. (1975): Bericht über die Vorarbeiten und den Meßbeginn im Projektteil „Meteorologie" des MaB-Hochgebirgsprogramms. — Sber. Österr. Akad. Wiss., mathem.-naturw. Kl., Abt. I, Bd. 184, 6. bis 7. Heft, 103—111.

— (1976): Das meteorologische Meßnetz in den Hohen Tauern im Rahmen des Man and Biosphere-Hochgebirgsprogramms. — Wetter und Leben, 28, 264—269.